

Przedmiot: Projektowanie sieci telekomunikacyjnych
Prowadzący: Piotr Cholda piotr.cholda@agh.edu.pl
Kierunek: Elektronika i Telekomunikacja
Specjalność: Sieci i usługi
Semestr: II sem. (zimowy) studiów magisterskich

Konspekt

Piotr Cholda

12 października 2017

1 Podstawowe informacje nt. przedmiotu

1.1 Dane nt. prowadzących

- Prowadzący przedmiot (wykład i egzamin):
 - ★ dr hab. inż. Piotr Cholda;
 - ★ pok. 113 (wejście przez sekretariat), pawilon D-5, piętro;
 - ★ konsultacje: czwartki, 14.15-16.15 + można się umówić mailem;
 - ★ tel.: (617-)26-16;
 - ★ e-mail: piotr.cholda@agh.edu.pl;
 - ★ materiały, informacje i kalendarz zajęć oraz dostępności prowadzącego: [strona WWW przedmiotu](#).
- Prowadzący projekt i laboratorium):
 - ★ mgr inż. Andrzej Kamisiński;
 - ★ e-mail: kamisinski@kt.agh.edu.pl.

1.2 Konspekty

- Konspekty będą udostępniane na stronie WWW przedmiotu przed wykładem, w miarę możliwości najpóźniej dzień wcześniej.
- Konspekty czasem będą poprawiane po wykładzie (np. korekta błędów, literówek, ewentualne uzupełnienia), dlatego proszę zwracać uwagę na nowe wersje — oznaczane przez słowo **modyfikacja** na stronie WWW przedmiotu.
- Proszę sobie drukować konspekty i przynosić na wykłady.
- Niekiedy po wykładzie są również udostępniane zwięzłe podsumowania materiału z wykładu.

Przedmiot: Projektowanie sieci telekomunikacyjnych
Prowadzący: Piotr Cholda piotr.cholda@agh.edu.pl
Kierunek: Elektronika i Telekomunikacja
Specjalność: Sieci i usługi
Semestr: II sem. (zimowy) studiów magisterskich

1.3 Cele kształcenia

Szczegółowe cele kształcenia są dostępne w [syllabusie przedmiotu](#).

W praktyce w ramach przedmiotu będą uczone i wymagane przede wszystkim następujące umiejętności:

- przekształcania zadanego werbalnie problemu inżynierskiego w zadanie optymalizacji oparte na programowaniu matematycznym (umiejętność formułowania),
- interpretacji znaczenia zadania programowania matematycznego (umiejętność rozumienia),
- implementacji zadania optymalizacji do postaci zrozumiałej dla odpowiedniego oprogramowania (umiejętność rozwiązywania — głównie laboratorium),
- korzystania z tekstów naukowych oraz wyciągania z nich wniosków (umiejętność kreatywnego zdobywania wiedzy — głównie projekt).

Część przedmiotu obejmuje również zagadnienia związane z problematyką niezawodności.

1.4 Zasady związane z zaliczaniem przedmiotu

1. Harmonogram zajęć podano na stronie WWW przedmiotu.
2. Przedmiot obejmuje:
 - wykład (uczęszczanie nie jest obowiązkowe — ale prowadzący oczekuje, że na każdym wykładzie zjawią się co najmniej dwie osoby!),
 - ćwiczenia laboratoryjne (obowiązkowe),
 - projekt (obowiązkowy),
 - egzamin ustny (obowiązkowy).
3. Zaliczenie całego przedmiotu: uzyskanie co najmniej oceny *dst* z laboratorium, projektu i egzaminu.
4. Warunkiem dopuszczenia do egzaminu jest uzyskanie zaliczenia z laboratorium oraz projektu (zdobycie z obu typów zajęć co najmniej *dst* — ocenę trzeba mieć wystawioną najpóźniej na dzień przed egzaminem).
5. Ocena końcowa z przedmiotu, uzyskiwana po skutecznym zdaniu egzaminu (tj. po zdobyciu co najmniej *dst*) — średnia arytmetyczna ocen z wagami 35%: laboratorium, 35%: projekt, 30%: egzamin (z uwzględnieniem wszystkich ocen *ndst*).
6. Laboratorium:
 - (a) Dokładne zasady podano na stronie WWW przedmiotu w dokumencie pt. *Informacje ogólne nt. laboratorium*. Należy się z nim zapoznać, ponieważ stanowi integralną część zasad związanych z zaliczeniem całego przedmiotu.

Przedmiot: Projektowanie sieci telekomunikacyjnych
Prowadzący: Piotr Cholda piotr.cholda@agh.edu.pl
Kierunek: Elektronika i Telekomunikacja
Specjalność: Sieci i usługi
Semestr: II sem. (zimowy) studiów magisterskich

(b) Składniki ćwiczeń laboratoryjnych:

- siedem spotkań (po dwie godziny każde);
- punktowana aktywność;
- testy pisane na początku niektórych zajęć;
- sprawdzian praktyczny z użyciem komputera i dowolnych materiałów (ostatnie zajęcia).

(c) Na stronie WWW przedmiotu będą umieszczone odpowiednie wytyczne ws. przygotowania się przed zajęciami.

7. Projekt:

- (a) Dokładne zasady podano na stronie WWW przedmiotu w dokumencie pt. *Wytyczne ws. projektu oraz proponowane tematy*. Należy się z nim zapoznać, ponieważ stanowi integralną część zasad związanych z zaliczeniem całego przedmiotu.
- (b) Możliwa praca grupowa.
- (c) Ze względu na wcześniejsze złe doświadczenia z wykonywaniem projektu, wprowadzono obowiązek spotkania się z prowadzącym w celu sprawnego wykonywania projektu.
- (d) Sprawozdanie z projektu: do PIĘCIU stron standardowego maszynopisu 12 pt (opracowania dłuższe nie będą przyjmowane), oddawane w wersji drukowanej, z załącznikiem elektronicznym.
- (e) Zaliczenie projektu obejmuje publiczną prezentację wyników.

8. Egzamin: ustny.

9. Tematy i terminy ewentualnych prezentacji studenckich podano na stronie [Google Docs](#),

1.5 Bibliografia do przedmiotu

Treść wykładów jest w dużym stopniu oparta na następujących książkach:

1. Michał Pióro and Deepankar Medhi. *Routing, Flow and Capacity Design in Communication and Computer Networks*. Morgan Kaufmann Publishers—Elsevier, San Francisco, CA, 2004: książka, na której jest oparta optymalizacyjna część niniejszego kursu.
2. Poompat Saengudomlert. *Optimization for Communications and Networks*. CRC Press/Science Publishers, Boca Raton, FL, 2012: metody rozwiązywania różnych problemów optymalizacyjnych w kontekście projektowania sieci.
3. Kishor S. Trivedi. *Probability and Statistics with Reliability, Queuing, and Computer Science Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 2016: podręcznik nt. podstawowych metod stochastycznego modelowania sieci (niezawodność oraz badanie jakości).

Do każdego wykładu dołączana jest literatura uzupełniająca, zazwyczaj zawierająca wykładany materiał lub jego rozszerzenie. Można zgłosić się po wymieniane pozycje do prowadzącego, gdyby były problemy z ich zdobyciem.

2 Podstawy teorii grafów — powtórka

2.1 Podstawowe informacje nt. teorii grafów: powtórka

1. Graf jako abstrakcja sieci telekomunikacyjnej lub komputerowej.
2. Matematyczny opis **grafu prostego**:
 - $G = (V, E)$ (graf jest zbiorem, ale typowo używamy reprezentacji graficznej — uwaga na związane z nią pułapki!; możliwe też inne podejście — algebraiczne),
 - V : wierzchołki (*vertex*, *pl. vertices*), w praktyce sieciowej nazywane węzłami (*nodes*); rząd grafu (*order*),
 - E : krawędzie (*edge*), $e = \{v, w\} \in E$, $v, w \in V$, $v \neq w$, w praktyce sieciowej nazywane łączami (*links*); rozmiar grafu (*size*),
 - wierzchołki mogą być połączone/sąsiednie (*adjacent, neighboring, connected*), natomiast wierzchołki i krawędzie — incydentne (*incident*).
3. Stopień wężła (*degree*) $deg(v)$:
 - $|E| = \frac{1}{2} \sum_{v \in V} deg(v)$ ¹,
 - średni stopień wężła: $E[deg] = \frac{1}{|V|} \sum_{v \in V} deg(v_i) = 2 \frac{|E|}{|V|}$,
 - lemat o uściskach dłoni (o podawaniu rąk, *handshaking theorem*).
4. Macierze podstawowe dla tzw. algebraicznej teorii grafów: macierz sąsiedztwa (*adjacency matrix*) $\mathbf{A} = [a_{ij}]$, $deg(v_i) = \sum_{j=1}^{|V|} a_{ij}$; macierz incydencji (*incidence matrix*).
5. Trasa/marszruta/łańcuch w grafie (*walk*); liczba tras (o określonej długości) między węzłami w grafie może być wyliczona z macierzy \mathbf{A} .
6. Ścieżka/droga w grafie (*path*):
 - $\langle v, w \rangle$ jest n -tką wierzchołków $\langle v = v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n = w \rangle$, takich że $\{v_i, v_{i+1}\}$ jest krawędzią w grafie i krawędzie nie powtarzają się,
 - długość ścieżki jako liczba krawędzi związanych z taką n -tką ($n - 1$).
7. Cykl (*cycle*) w grafie.
8. Odległość wierzchołków w grafie (*distance*), $dist(i, j)$ (długość najkrótszej ścieżki między wierzchołkami, *shortest path*).
9. Średnica grafu (*diameter*), $d(G)$ (największa odległość).
10. Podgraf (*subgraph*).
11. Spójność grafu (*connectivity*):
 - graf spójny (*connected graph*),

¹Czasami tę zależność utożsamia się z lematem o uściskach dłoni.

- składowa spójności/komponent/klaster (*(connected) component, cluster*),
- zbiór rozspajający (*edge partition set*), rozcięcie/przekrój rozdzielający (*edge cut*), most (*bridge*),
- spójność (liczba spójności) krawędziowa $\lambda(G)$ (*edge connectivity*),
- zbiór separujący (*vertex partition set*), separator (*vertex cut*), przegub tj. wierzchołek rozspajający (*articulation point, cut vertex*),
- spójność (liczba spójności) wierzchołkowa $\kappa(G)$ (*vertex connectivity*),
- zależność ogólna: $\kappa(G) \leq \lambda(G) \leq \deg_{\min} \leq \frac{2|E|}{|V|}$,
- twierdzenia Mengera.

12. Wyróżnione typy grafów:

- pełny (*full mesh, complete graph*) K_n ,
- cykliczny (*cyclic*) C_n ,
- liniowy (*linear*) P_n ,
- dwudzielny (*bipartite*) $G(V_1 \cup V_2, E)$, graf pełny dwudzielny $K_{n,m}$,
- gwiazda (*star*) $K_{1,n-1}$,
- hiperkostka/hipersześcian (*hypercube*) Q_n .

13. Drzewo (*tree*) T_n :

- pojęcie liścia (*leaf*, pl. *leaves*; *pendant*),
- las (*forest*),
- $n - 1$: liczba krawędzi drzewa o n wierzchołkach,
- drzewo binarne (*binary tree*), ograniczenie na średnicę drzewa binarnego.

14. Drzewo rozpinające (spinające, *spanning tree*).

15. Graf ważony (*weighted graph*), $G = (V, E, f)$, $f : E \rightarrow \mathbb{R}$. Siła (*strength*) wężła.

16. Cykl Eulera i grafy eulerowskie, twierdzenie Eulera, mosty królewieckie.

17. Cykl Hamiltona i grafy hamiltonowskie.

18. Problem komiwojażera (*travelling salesman problem*). Problem chińskiego listonosza (*Chinese postman/route inspection problem*).

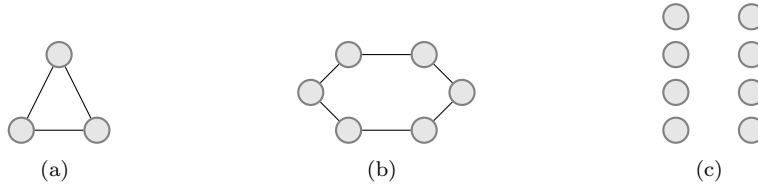
19. Graf skierowany (digraf), pojęcie łuku (*arc*), $G = (V, A)$, $A \subseteq \{(x, y) : x, y \in V, x \neq y\}$.

20. Sieć jako digraf ważony, przepływność/przepustowość² (*capacity*), przepływ (*flow*), źródło przepływu (*source*), ujście/odpływ przepływu (*sink*), pojęcie łącza nasyconego (*saturated edge/link*).

²W języku polskim specjaliści od teorii grafów i optymalizacji często używają tych określeń zamiennie, ale należy pamiętać, że w języku angielskim *capacity* jest właściwością interfejsu (np. przepływność bitowa), natomiast *throughput* (przepustowość) to miara chwilowej jakości działania sieci.

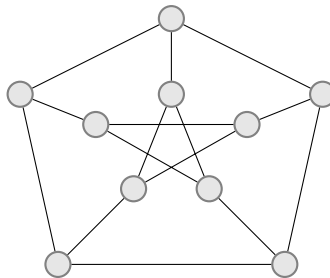
2.2 Zadania

1. Które z grafów pokazanych na rysunku 1 są podgrafami grafu Petersena pokazanego na rysunku 2? Odpowiedź proszę uzasadnić na przykład umieszczając odpowiednie etykiety.



Rysunek 1: Grafy związane z zadaniem 1.

2. Jaka jest spójność krawędziowa grafu pełnego o 45 krawędziach?
3. Proszę narysować taki graf G , w którym minimalny stopień wierzchołka wynosi k i spójności spełniają następujące relacje: $\kappa(G) < \lambda(G) < k$.
4. Proszę narysować graf, w którym istnieje dokładnie sześć cykli. Proszę podać jego średnicę.
5. Czy hiperkostka Q_3 jest grafem dwudzielnym?
6. Czy hiperkostka Q_4 jest grafem eulerowskim?
7. Czy hiperkostka Q_3 jest grafem hamiltonowskim? Jeśli tak, to proszę podać sposób konstruowania cyklu hamiltonowskiego w takim grafie.
8. Jaka jest różnica wartości między spójnością wierzchołkową i spójnością krawędziową hiperkostki o 32 wierzchołkach?
9. Niech n będzie liczbą uzyskaną przez dodanie 10 do liczby reprezentowanej przez ostatnią cyfrą numeru własnego indeksu (np. dla numeru indeksu $xxxxx5$: $n = 15$). Proszę narysować graf prosty, który ma n wierzchołków, jest grafem spójnym i nie zawiera cykli. Proszę znaleźć gęstość tego grafu. Proszę nadać etykiety $1, \dots, n$ poszczególnym wierzchołkom. Następnie proszę zmodyfikować ten graf, dodając do niego nowe krawędzie w taki sposób, żeby macierz sąsiedztwa \mathbf{A} grafu po modyfikacji charakteryzowała



Rysunek 2: Graf Petersena.

Przedmiot: Projektowanie sieci telekomunikacyjnych
Prowadzący: Piotr Cholda piotr.cholda@agh.edu.pl
Kierunek: Elektronika i Telekomunikacja
Specjalność: Sieci i usługi
Semestr: II sem. (zimowy) studiów magisterskich

się następującą właściwością: $\forall_{j=1,\dots,n} (\mathbf{A}^2)_{jj} = X$ (wartość X proszę sobie wybrać według własnego uznania) i żeby graf zmodyfikowany też był grafem prostym.

2.3 Lektury

2.3.1 Materiał wykładu

Zagadnienia omówione w ramach tego wykładu są w dużym stopniu opisane w następującej pozycji (i to chyba wyczerpuje lektury po polsku do tego przedmiotu ☺):

- Robin J. Wilson. *Wprowadzenie do teorii grafów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000 (§ 1-3, § 5-7, § 9).

2.3.2 Bibliografia uzupełniająca

- LiYing Cui, Soundar Kumara, and Réka Albert. Complex Networks: An Engineering View. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 10(3):10–25, third quarter 2010: wprowadzenie podstawowych pojęć teorii grafów wraz z ich zastosowaniem w optymalizacji sieci.
- Robin J. Wilson. *Wprowadzenie do teorii grafów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2000: zwięzłe wprowadzenie do teorii grafów.
- Piet Van Mieghem. *Graph Spectra for Complex Networks*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2011: rozdziały początkowe zawierają wiele ciekawych zależności opartych na tzw. algebraicznej teorii grafów.